



Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra částí a mechanismů strojů

Sloupový otočný jeřáb pro nosnost 100 kg

Standing Derrick for Lifting Capacity 100 kg

Student:

Petra Teslíková

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Milan Výtisk

Ostrava 2009



Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta



Prohlašuji že,

- byla jsem seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola baňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečné ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta



ANOTACE

Teslíková, P. *Sloupový otočný jeřáb pro nosnost 100 kg*. Ostrava: katedra částí a mechanismu strojů, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 40 s. Bakalářská práce, vedoucí Výtisk, M.

Cílem bakalářské práce je navrhnout a konstrukčně zpracovat sloupový otočný jeřáb pro nosnost 100 kg, zdvih 2000 mm, délka vyložení také 2000 mm a rozsah otáčení jeřábu minimálně 180°. Jeřábová kočka bude zakoupena. V úvodu bakalářské práce je nastíněn přehled základního rozdělení jeřábů. Podrobněji je popsán sloupový otočný jeřáb se svými jednotlivými hlavními částmi. Na závěr je proveden návrh a pevnostní výpočet jednotlivých částí jeřábu (sloup, výložník, základová deska), kotevních šroubů, ložisek otočného závěsu jeřábu a všech svarových spojů.

Klíčové slovo: sloupový otočný jeřáb, základová deska, zdvih, délka vyložení, sloup, zdvihací zařízení

ANNOTATION

Teslíková, P. *Standing Derrick for Lifting Capacity 100 kg*. Ostrava: Department of Machine Parts and Mechanisms, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 40 p. Bachelor thesis, head: Výtisk, M.

The aim of this bachelor thesis is to propose and structurally process of rotary pillar crane for lifting capacity 100 kg, stroke 2000 mm, the length of the unloading of 2000 mm and a range of rotation of the crane at least 180°. Crane "cat" will be bought. At the beginning of bachelor work is outlined an overview of the basic crane distribution. Individual major components of the rotary pillar crane are described in great detail. Finally, design and steadiness calculation of the various parts of the crane are made like (Pillar, boom, base plate), affix bolts, bearings of revolving crane hinge and all the welded joints.

Key word: rotary pillar crane, base plate, stroke, length of unloading, a pillar, lifting equipment



Seznam použitých značek.....	3
1 Úvod	6
2 Základní rozdělení zdvihacích zařízení	7
2.1 Jeřáby	8
3 Sloupový otočný jeřáb	10
3.1 Sloup.....	10
3.1.1 Neotočný sloup	11
3.1.2 Otočný sloup.....	11
3.1.3 Základová deska	11
3.2 Základ	12
3.3 Výložník	12
3.3.1 Otáčení výložníku.....	13
3.3.2 Zarážka	13
3.4 Zdvihací zařízení	14
4 Návrh a kontrola sloupového otočného jeřábu	15
4.1 Důležitost volby materiálu.....	15
4.2 Volba typu jeřábové kočky.....	16
4.3 Zavedení součinitelů působení	17
4.3.1 Součinitel pro zatížení vyvozené vlastní tíhou	17
4.3.2 Součinitel zatížení od břemene.....	18
4.3.3 Dynamický zdvihový součinitel	18
4.4 Návrh a kontrola výložníku	19
4.4.1 Ohyb výložníku	20
4.4.2 Průhyb výložníku.....	20
4.5 Návrh a kontrola sloupu	21
4.5.1 Kontrola sloupu na vzpěr.....	22
4.6 Návrh a kontrola kotevních šroubů a základové desky	23
4.7 Návrh a kontrola nosného čepu	25
4.8 Kontrola svarových spojů.....	26
4.8.1 Připojení sloupu k základové desce.....	26
4.8.2 Připojení výložníku	27
4.8.3 Připojení horní desky.....	29



4.8.4	Připojení spodní desky	31
4.9	Kontrola ložisek.....	31
4.9.1	Horní ložisko	32
4.9.2	Spodní ložisko	33
5	Závěr	35
6	Seznam použitých zdrojů.....	36
7	Seznam použitých obrázků.....	38
8	Seznam použitých tabulek	39
9	Seznam příloh.....	40



Seznam použitých značek

a	rameno od síly F_{G1}	[m]
a_1	výška svaru	[m]
b	rameno od síly F'_{mb} a F_{G1}	[m]
B	šířka ložiska	[m]
b_1	délka svaru	[m]
b_d	šířka základové desky	[m]
C	dynamická únosnost ložiska	[N]
c	rameno od síly V	[m]
Co	statická únosnost ložiska	[N]
D'	reakce na spodní ložisko	[N]
D	reakce na horní ložisko	[N]
D_1	vnější průměr sloupu	[m]
d_1	vnitřní průměr sloupu	[m]
d_3'	nejmenší průměr šroubu	[m]
D_L	vnější průměr ložiska	[m]
d_L	vnitřní průměr ložiska	[m]
d_{min}	minimální průměr čepu	[m]
d_{minS}	minimální vypočtený průměr šroubu	[m]
D_S	průměr roztečné kružnice šroubu základové desky	[m]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F'	svislá reakce ve šroubu od maximálního momentu	[N]
F''	svislá reakce ve šroubu od síly V	[N]
F	výsledná síla	[N]
F'_{mb}	dynamická síla	[N]
F_{dov}	dovolená síla	[N]
F_G	síla od vlastní tíhy	[N]
F_{G1}	síla od hmotnosti ramene	[N]
F_{G2}	síla od hmotnosti kladkostroje	[N]
F_{mb}	síla od břemene	[N]
F_t	tahová síla od šroubu	[N]
G	celková hmotnost	[kg]



g	tíhové zrychlení	$[\text{m}\cdot\text{s}^{-2}]$
G_1	hmotnost ramene	$[\text{kg}]$
G_2	hmotnost kladkostroje	$[\text{kg}]$
h'	celkové rozpětí svaru	$[\text{m}]$
H	reakce od síly V	$[\text{N}]$
H'	reakce od síly V	$[\text{N}]$
h_1	vzdálenost mezi ložisky	$[\text{m}]$
I_x	kvadratický moment průřezu	$[\text{m}^4]$
k_s	statická bezpečnost	$[-]$
k_v	součinitel bezpečnosti	$[-]$
l	délka nosníku	$[\text{m}]$
l_o	redukovaná délka	$[\text{m}]$
l_s	délka sloupu	$[\text{m}]$
l_z	délka maximálního zdvihu	$[\text{m}]$
m_b	hmotnost břemene	$[\text{kg}]$
m_{bsk}	skutečná hmotnost břemene	$[\text{kg}]$
M_h	ohybový moment působící na základovou desku	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
m_k	hmotnost kladkostroje	$[\text{kg}]$
$M_{O\max}$	maximální ohybový moment	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_O	ohybový moment	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_{O1}	moment k bodu 1	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_{O2}	moment k bodu 2	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_{O5}	moment k bodu 5	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
M_{OV}	moment od síly V	$[\text{N}\cdot\text{m}]$
m_r	hmotnost 1m pro profil IPE 120	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}]$
n	počet šroubu základové desky	$[\text{ks}]$
p_a	axiální tlak na ložisko	$[\text{MPa}]$
p_r	radiální tlak na ložisko	$[\text{MPa}]$
P_u	mezní únavové zatížení ložiska	$[\text{N}]$
Re	mez kluzu materiálu	$[\text{MPa}]$
S	plocha průřezu	$[\text{m}^2]$
S_j	průřez jádra šroubu	$[\text{m}^2]$
So	bezpečnost ložiska	$[-]$



$S_{o_{min}}$	minimální bezpečnost ložiska	[-]
T	šířka ložiska	[m]
t	tloušťka svaru	[m]
V	síla svislá na ložisko	[N]
v_h	rychlost zdvihu	[m·s ⁻¹]
W_o	průřezový modul v ohybu	[m ³]
W_{osv}	průřezový modul v ohybu v místě svaru	[m ³]
W_{ox}	průřezový modul v ohybu	[m ³]
y	průhyb výložníku	[m]
y_D	dovolený průhyb	[m]
$\alpha_{\tau\perp}$	převodní součinitel pro čelní koutový svar	[-]
$\alpha_{\tau\Pi}$	převodní součinitel pro boční koutový svar	[-]
β	součinitel tloušťky přídavného svaru	[-]
β_t	součinitel přídavného krutu	[-]
γ_b	součinitel zatížení od břemene	[-]
δ_h	dynamický zdvihový součinitel	[-]
δ_t	dynamický pojezdový součinitel	[-]
λ	štíhlost	[-]
σ	napětí sloupu	[MPa]
σ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
σ_o	napětí v ohybu	[MPa]
σ_{OA}	maximální ohybové napětí v bodě A	[MPa]
$\sigma_{O_{dov}}$	dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_t	tahové napětí ve šroubu	[MPa]
τ_{\perp}	smykové napětí kolmé na směr svaru	[MPa]
τ_1	smykové napětí od síly H	[MPa]
τ_2	smykové napětí od síly V	[MPa]
τ_I	smykové napětí od ohybového momentu	[MPa]
τ_S	výsledné srovnávací napětí	[MPa]
τ_{S1}	srovnávací napětí	[MPa]
τ_{S2}	srovnávací napětí	[MPa]
τ_{Π}	smykové napětí rovnoběžné se směrem svaru	[MPa]



1 Úvod

Na úplném počátku lidské společnosti se břemena přemísťovala pouze lidskou silou. Postupem času vznikaly pomocné prostředky a zařízení, zejména při dopravě těžších břemen. Člověk si jimi práci usnadňoval, vůbec umožňoval, anebo si jimi zkracoval čas potřebný k práci. Těmto zařízením dodávali hnací sílu nejprve ještě lidé, nebo tažná zvířata, ačkoliv se již před více než dvěma tisíciletími začalo používat pohonu energie vody nebo větru (např. mlýn).

Zařízení pro přemísťování těžkých břemen ve vodorovné rovině nebo v mírném sklonu se od nejstarších dob až do první průmyslové revoluce v podstatě příliš nezměnila. Pro přemísťování břemen ve svislém směru vyžadovaly postupně se měnící výrobní poměry stále výkonnější zařízení, o stále vyšší nosnosti.

Mechanické energie ke zvedání břemen se začalo používat nejdříve v hornictví. Výšky zdvihu dosahovali až do desítek metrů, avšak břemena byla lehčí.

Teprve parní pohon (o prvním parním jeřábu je zmínka z r. 1820) umožňuje splnit hlavní požadavek zdvihacích zařízení, tj. vyšší nosnost za účelem vyššího výkonu. Stejně snadno jako zvyšovat nosnost lze i zrychlovat pohyb břemene.

Elektrický pohon (první jeřáb z r. 1887) přináší další výhody, a to hlavně z hlediska provozní a ekonomické stránky. Používáním elektrického pohonu se vývoj zdvihacích zařízení značně urychlil. Došlo ke zkonstruování výkonných zařízení pro nejrůznější úkoly zdvihací techniky. Nosnost největších jeřábů dnes přesahuje 400 t a není problém postavit zařízení o mnohem větší nosnosti, pokud by jich bylo třeba.

Vývoj zdvihacích zařízení není dodnes ukončen, podle potřeb nově se vyskytujících úkolů transportní techniky vznikají nové druhy a typy zdvihacích zařízení. [19]

Mým úkolem bylo navrhnout a konstrukčně zpracovat sloupový otočný jeřáb pro nosnost 100 kg. Kromě nosnosti jsem měla dány další základní parametry jeřábu, jakož je zdvih, délka vyložení a rozsah otáčení jeřábu. Jeřábovou kočku jsem měla nakupovat.

K dosažení dokonalosti bylo třeba určení typu nakupované jeřábové kočky, návrh a výpočet svařované konstrukce, výpočet kotevních šroubů a výpočet ložisek otočného závěsu jeřábu.

2 Základní rozdělení zdvihacích zařízení

Každé zdvihací zařízení se skládá z ocelové konstrukce, která tvoří nosný systém. Na ocelové konstrukci nebo uvnitř (pokud je konstrukce uzavřena) jsou umístěny mechanismy (ústrojí, které mění rotační pohyb hřídele motoru na pohyb pracovní). Mechanismus je souborem převodových prvků, které jsou buď mechanické, hydraulické, pneumatické nebo kombinované. K mechanickým prvkům patří ústrojí složené z poháněcího motoru, převodovky, spojek, ozubených kol, dalších lanových a řetězových převodů, bubnů, kladek, brzd, atd. [17]

Použití zdvihacích zařízení je vhodné především v podmínkách dle [17]:

- kde se přemisťuje převážně těžký materiál nestejných rozměrů a hmotnosti
- kde je materiálový tok přerušovaný v nestejných intervalech
- kde se materiál přemisťuje na omezené, stále stejné ploše nebo prostoru
- kde je nedostatek místa u jednotlivých pracovišť
- kde jsou nevyhovující pracovní cesty
- kde se požaduje vertikální i horizontální doprava břemen



Obr. 2.1 Zdvihací zařízení pro zdvih automobilu [18]

Podle způsobu práce, dopravní vzdálenosti a zásadního konstrukčního provedení se zdvihací zařízení obvykle rozdělují do tří kategorií dle [19]:

- jednoduchá zdvihadla
- jeřáby
- výtahy

2.1 Jeřáby

Jeřáb je dopravní stroj z kategorie zdvihadel, který zdvihá a poté přemísťuje těžké předměty respektive břemena, obvykle (ale ne vždy) pomocí kladnice a háku. Používá se ve všech oblastech průmyslu (zejména v průmyslu těžkém), dále pak ve stavebnictví i jinde. Příbuznými stroji jeřábu jsou vrátky a nákladní zdviže. [25]



Obr. 2.2 Jeřáb používaný v průmyslu [25]

Jeřáby patří k velmi vyžadovaným zařízením. Lze se s nimi setkat v každém provozu a v každé větší dílně. Očekává se od nich [17]:

- velký dopravní (pracovní) výkon při malé vlastní hmotnosti
- bezpečný a spolehlivý provoz
- jednoduchá, pokud možno automatická obsluha
- přizpůsobivost technologickým procesům

Hlavní parametry jeřábu dle [19]:

- nosnost Q [kg, t] - nejtěžší břemeno které lze jeřábem manipulovat
- rozpětí L [m] - vodorovná vzdálenost středních rovin pojíždějících kol
- výška zdvihu H [m] - svislá vzdálenost mezi nejnížší a nejvyšší pracovní polohou háku
- vyložení jeřábu L_v [m] - vodorovná vzdálenost svislé osy závěsu břemena od osy otáčení u jeřábů s otočným výložníkem nebo od hrany klopení u jeřábů s neotočným výložníkem.

Jeřáby obvykle rozdělujeme dle [17]:

- 1) podle konstrukce
 - mostové
 - portálové a poloportálové
 - konzolové a sloupové
 - věžové (stavební)
 - mobilní
 - železniční
- 2) podle druhu pohonu
 - ruční
 - motorický
 - elektrický
 - spalovacím motorem
 - kombinovaný
- 3) podle způsobu pohybu
 - nepojízdné
 - pojízdné
 - otočné
 - plovoucí
 - kombinované
- 4) podle druhu práce a místa použití
 - dílenské a skladištní jeřáby
 - montážní
 - hutní
 - nádvorní a skládkové
 - stavební
 - železniční
 - přístavní apod.



Obr. 2.3 Portálový jeřáb [12]



Obr. 2.4 Mostový jeřáb elektrický [12]

3 Sloupový otočný jeřáb

U sloupových jeřábů se otáčí výložník kolem osy svislého sloupu. Výložník lze zpravidla sklápět nebo je opatřen jeřábovou kočkou. Jeho otáčením může jeřáb obsáhnout částečně nebo téměř úplně plochu kruhu, jehož poloměr je dán největším vyložením jeřábu.

Mezi dovoleným břemenem a vyložením platí (jako u všech jeřábů s měnitelným vyložením) nepřímá úměrnost: součin $Q \cdot a$ (břemeno násobené vyložením) je pro určitý jeřáb konstantou, která jej charakterizuje a nazývá se parametr jeřábu. Je-li rozmezí nosností 0,25 až 20 t, rozmezí vyložení až 12,5 m, má parametr jeřábu rozmezí od 1 tm do 250 tm.

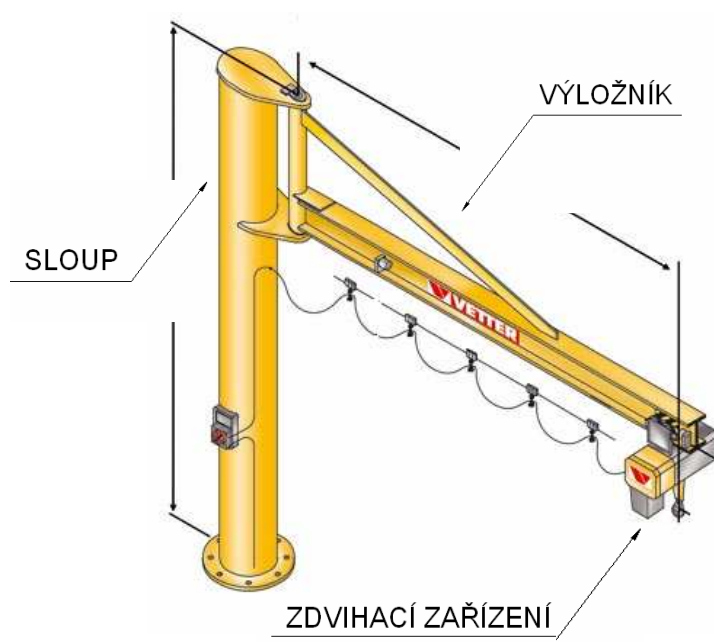
Podle konstrukce můžeme hovořit o sloupových jeřábech s nehybným (tj. neotočným) sloupem a s otočným sloupem. V obou případech je nehybným nebo otočným prvkem poměrně krátký, jednoduchý prut (sloup). [20]

Základní části sloupového otočného jeřábu:

- sloup
- výložník
- zdvihací zařízení

Mimo základní části patří mezi součásti sloupového otočného jeřábu:

- základová deska
- základ



Obr. 3.1 Sloupový otočný jeřáb [10]

3.1 Sloup

Sloup je ocelový, plný nebo dutý. Výšku sloupu musíme volit přiměřeně. Navolíme-li sloup příliš nízký, vzniknou poměrně značné tlaky v ložiskách. Naopak navolíme-li sloup příliš vysoký, dojde k abnormálně velkému průhybu tohoto sloupu při maximálním dovoleném zatížení jeřábu.

Sloup je namáhán tlakem a ohybem. Pro výpočet považujeme sloup za nosník vetknutý v základové desce. Nebezpečný průřez je v místě největšího ohybového momentu. Při výpočtu celkového namáhání sloupu tlakem a ohybem je třeba přihlížet i k dynamickým účinkům. [20]

3.1.1 Neotočný sloup

Sloup je uložen pouze svým dolním koncem a zakotven v základové desce (obr. 3.2). Podle konstrukce jeřábu se může výložník otáčet až o celých 360 stupňů, což dává těmto jeřábům výhodu proti jeřábům s otočným sloupem, kde je otáčení mnohdy omezeno. Pohon i ostatní příslušenství jeřábu je umístěno na výložníku, který je na sloupu uložen ve dvou ložiskách. Horní ložisko je radiální a axiální, dolní ložisko je radiální. V klasickém provedení je sloup jeřábu velmi jednoduchý a poměrně nízký. [20]



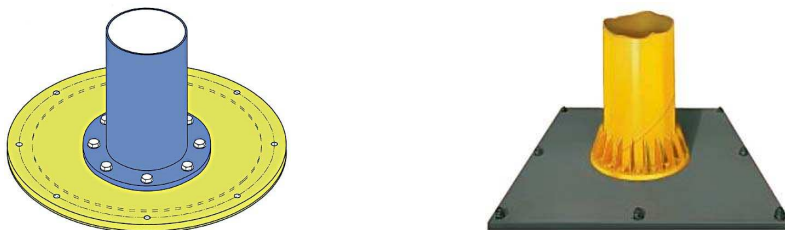
Obr. 3.2 Neotočný sloup [16]

3.1.2 Otočný sloup

Sloup je otočný ve dvou ložiskách. V horním ložisku, které je zatíženo jen radiálními silami, a v ložisku dolním, které přenáší kromě sil radiálních i síly axiální. Výložník je se sloupem spojen nehybně nebo kloubově. Jedná-li se o nehybné spojení tvoří výložník se sloupem celek. Jde-li o spojení kloubové je výložník stavitelný. [20]

3.1.3 Základová deska

Základová deska u menších jeřábů je litinová, dále může být svařovaná z tvarové oceli a plechů. V místě osazení sloupu působí moment, který základová deska zachycuje. Tam kde se střetává sloup a deska nesmí být překročen dovolený měrný tlak.

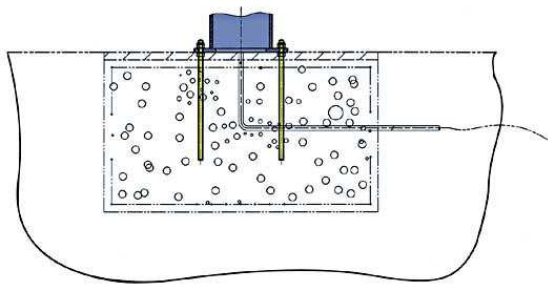


Obr. 3.3 Kruhová [10] a čtvercová základová deska [8]

Základová deska je připojena k základu pomocí kotevních šroubů. Průměr kotevních šroubů by neměl být menší než M 24 (vliv koroze). [20]

3.2 Základ

Sloupové jeřáby se zpravidla upevňují do základu betonových podlah (obr. 3.4). Velikost a tvar základu musí splňovat podmínku dovoleného měrného tlaku na základovou



Obr. 3.4 Betonový základ [10]

půdu a podmínku předepsané stability jeřábu. Přípustný měrný tlak závisí na druhu a vlastnostech základové půdy. Aby v základové spáře mezi základem a půdou nevznikal tah, musí výslednice všech svislých sil procházet jádrem průřezu základu. [20]

3.3 Výložník

Výložníky lze zpravidla otáčet v rozmezí od 90 stupňů do 360 stupňů a rozdělují se podle dvou kritérií dle [20]:

I. podle profilu

- plnostěnný (skříňový)
- příhradový
- popřípadě kombinovaný



Obr. 3.5 Plnostěnný výložník [15]

II. podle polohy

- šikmý
- vodorovný



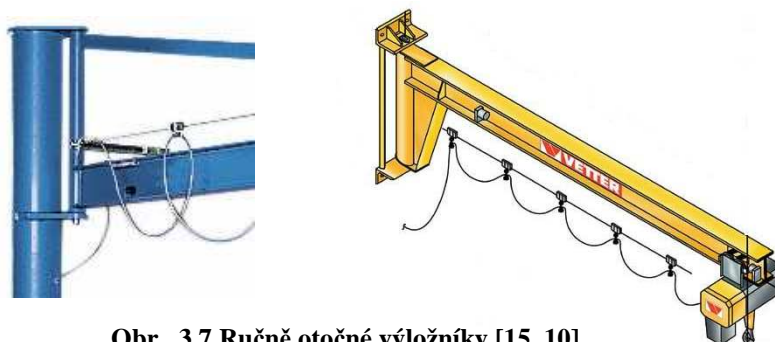
Obr. 3.6 Příhradový výložník [8]

Plnostěnné výložníky šikmé jsou obvykle jen u jeřábů, které mají protizávaží. Tyto výložníky mají vesměs skříňový průřez vyztužený. Prutový výložník šikmý je buď s protizávažím, nebo bez protizávaží (u menších nosností). Výložník s jeřábovou kočkou

může být plnostěnný nebo prutový. Jedná se o jednoduchý vodorovný výložník. Plnostěnné výložníky zabírají méně místa než příhradové, ale jsou zato těžší. [20]

3.3.1 Otáčení výložníku

Výložník můžeme otáčet ručně nebo strojně. Ručního otáčení lze využít pouze u hmotnostně lehčích břemen. Přemístění výložníku se uskutečňuje tlakem (tahem) na břemeno.



Obr. 3.7 Ručně otočné výložníky [15, 10]

Elektricky ovládaný otočný výložník se od ručně otočného výložníku liší pouze mechanismem, díky kterému se otáčí. Mechanismus je pevně přichycen k jeřábu a pracuje na principu zabírání pastorku (ten je poháněný ozubenými převody od motoru) do ozubeného věnce.



Obr. 3.8 Elektricky ovládaný otočný výložník [7]

3.3.2 Zarážka

Zarážka se obvykle umísťuje na dvě místa výložníku, na začátek a na konec. Důležitějším z těchto dvou míst je konec výložníku. Zarážka se na konec výložníku umísťuje proto, aby nedošlo k vyjetí a následnému pádu kladkostroje z výložníku. Zarážky mohou být rozebíratelné (obr. 3.10) nebo jsou na výložníku napevno (obr. 3.9).



Obr. 3.9 Zarážka pevná [15]



Obr. 3.10 Zarážka rozebíratelná [5]

3.4 Zdvihací zařízení

U jeřábů s plnostěnným výložníkem a neproměnným vyložením je zdvihací zařízení uloženo vzadu na svislé otočné části. U jeřábů s příhradovým výložníkem se zdvihací zařízení obvykle umísťuje na rámovou plošinu. Jen u jeřábů s ručním pohonem a nosností nejvýše 2 až 3 t je někdy zdvihací zařízení připevněno přímo na výložníku. Převod zdvihacího kladkostroje bývá do 1:5, výjimečně více. Mezi bubnem a motorem bývají tři dvojice ozubených kol. Brzda je pásová, při elektrickém pohonu je ovládána elektromagneticky i ručně. Koncový vypínač zabráňuje, aby hák nepřekročil svou nejvyšší polohu. [20]

Podle pohonu rozeznáváme kladkostroje:

- ruční
- elektrické
 - řetězové
 - lanové



Obr. 3.12 Elektrický řetězový kladkostroj [9]



Obr. 3.11 Elektrický lanový kladkostroj [24]

4 Návrh a kontrola sloupového otočného jeřábu

Provedu kontrolní výpočet otočného sloupového jeřábu, který je určen k manipulaci s břemeny do hmotnosti 100 kg v dosahu výložníku jeřábu. Zdvih břemene je zajištěn elektrickým kladkostrojem pojíždějícím po dolní pásnici výložníku tlakem (tahem) na břemeno. [14]

Tab. 4.1 Zadané hodnoty

m_s nosnost	l délka výložníku	l_z délka maximálního zdvihu
100 [kg]	2 [m]	2 [m]

4.1 Důležitost volby materiálu

Volba materiálu je jedna z nejdůležitějších úkonů před samotným výpočtem. Jednotlivé materiály mají své specifické mechanické vlastnosti, které je třeba při návrhu dobře znát.

Za mechanické vlastnosti materiálu se považují např.:

- pevnost v tahu
- tažnost
- vrubová houževnatost
- tvrdost
- tvárnost za tepla
- svařitelnost
- obrobitelnost
- chemické složení

Mezi nejčastěji používané materiály při stavbě jeřábů můžeme zařadit [19]:

- uhlíkové oceli
- legované oceli (chromniklová ocel a manganová ocel)

4.2 Volba typu jeřábové kočky

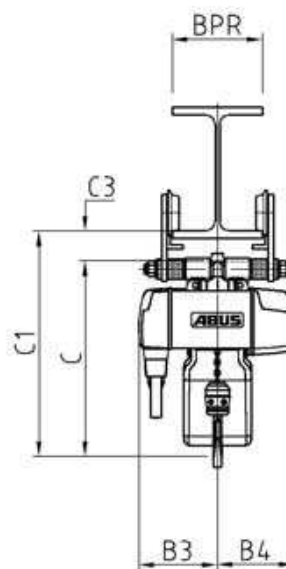
Svěží design a přesvědčivý technický koncept charakterizují zdvihadla nového řetězového kladkostroje ABUCompact. [8] Tyto řetězové kladkostroje se vyrábí v konstrukčních velikostech GMC, GM2 a GM8 (obr. 4.1).



Obr. 4.1 Řetězový kladkostroj ABUCompact [8]

Zvolila jsem kladkostroj konstrukční velikosti GM2 s pojezdovým ústrojím typového označení GM 2 100.6 – 1/ HF 3.

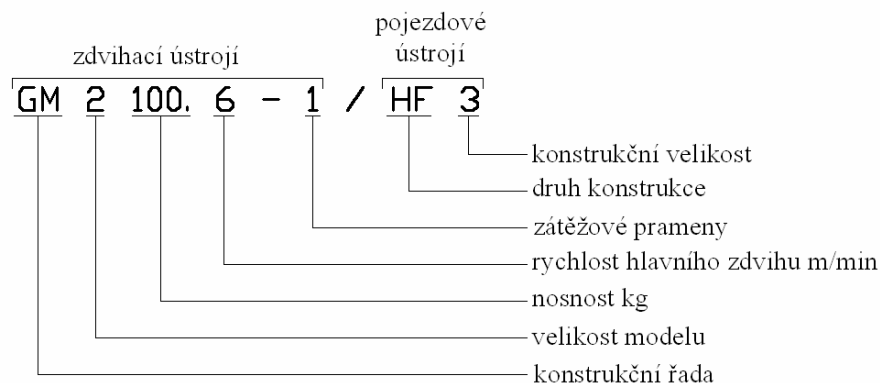
- rychlost zdvihu $v_h = 1,5/6$ [m/min]
- hmotnost kladkostroje $m_k = 21,8$ [kg]



Obr. 4.2 Kladkostroj ABUCompact GM2 [8]

Tab. 4.2 Rozměry kladkostroje ABUCompact GM2 [8]

BPR [mm]	C [mm]	C ₁ [mm]	B ₃ [mm]	B ₄ [mm]
64	344	390	175	171



Obr. 4.3 Vysvětlivky k typovému označení [8]

4.3 Zavedení součinitelů působení

V první řadě je pro výpočet důležité stanovit základní součinitele působení dle normy ČSN 27 0103. Mezi tyto součinitele patří především součinitel pro zatížení vyvozené vlastní tíhou, součinitel zatížení od břemene a dynamický zdvihový součinitel.

4.3.1 Součinitel pro zatížení vyvozené vlastní tíhou

Hmotnost ramene

$$G_1 = m_r \cdot l \cdot \delta_t \Rightarrow G_1 = 10,4 \cdot 2 \cdot 1,1 \quad (4.1)$$

$$G_1 = 22,88 \text{ kg}$$

$\delta_t = 1,1 [-]$ - dynamický pojezdový součinitel, volím dle ČSN 27 0130 [19]

$m_r = 10,4 [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}]$ - hmotnost 1m pro profil IPE 120 dle [13]

$l = 2 [\text{m}]$ - délka nosníku

Síla od hmotnosti ramene

$$F_{G1} = G_1 \cdot g \Rightarrow F_{G1} = 22,88 \cdot 9,81 \quad (4.2)$$

$$F_{G1} = 224,45 \text{ N}$$

Hmotnost kladkostroje

$$G_2 = m_k \cdot \delta_t \Rightarrow G_2 = 21,8 \cdot 1,1 \quad (4.3)$$

$$G_2 = 23,98 \text{ kg}$$

$m_k = 21,8 [\text{kg}]$ - hmotnost kladkostroje dle katalogu ABUS Jeřábové systémy [8]



Síla od hmotnosti kladkostroje

$$F_{G2} = G_2 \cdot g \Rightarrow F_{G2} = 23,98 \cdot 9,81 \quad (4.4)$$

$$F_{G2} = 235,24 \text{ N}$$

Celková hmotnost

$$G = G_1 + G_2 \Rightarrow G = 22,88 + 23,98 \quad (4.5)$$

$$G = 46,86 \text{ kg}$$

Síla od vlastní tíhy

$$F_G = G \cdot g \Rightarrow F_G = 46,86 \cdot 9,81 \quad (4.6)$$

$$F_G = 459,7 \text{ N}$$

4.3.2 Součinitel zatížení od břemene

Skutečná hmotnost břemene

$$m_{bsk} = m_b \cdot \gamma_b \Rightarrow m_{bsk} = 100 \cdot 1,2 \quad (4.7)$$

$$m_{bsk} = 120 \text{ kg}$$

$$m_b = 100 \text{ [kg]} - \text{hmotnost břemene}$$

$$\gamma_b = 1,2 \text{ [-]} - \text{součinitel zatížení od břemene dle ČSN 27 0103 [19]}$$

Síla od břemene

$$F_{mb} = m_{bsk} \cdot g \Rightarrow F_{mb} = 120 \cdot 9,81 \quad (4.8)$$

$$F_{mb} = 1177,2 \text{ N}$$

4.3.3 Dynamický zdvihový součinitel

$$\delta_h = 1,15 + 0,0025 \cdot v_h \Rightarrow \delta_h = 1,15 + 0,0025 \cdot 0,0042 \quad (4.9)$$

$$\delta_h = 1,1500105$$

$$\delta_h - \text{dynamický zdvihový součinitel dle ČSN 27 0103, zdvihová třída H12 [19]}$$

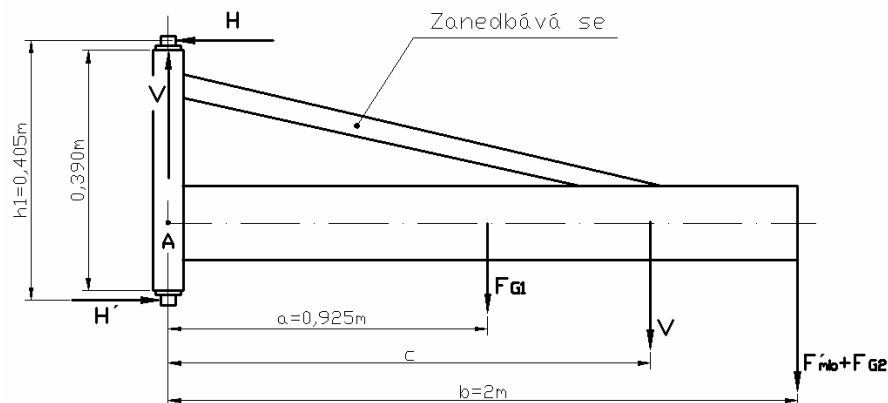
$$v_h = 0,0042 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] - \text{rychlost zdvihu dle katalogu ABUS Jeřábové systémy [8]}$$

Dynamická síla

$$F'_{mb} = F_{mb} \cdot \delta_h \Rightarrow F'_{mb} = 1177,2 \cdot 1,1500105 \quad (4.10)$$

$$F'_{mb} = 1353,8 \text{ N}$$

4.4 Návrh a kontrola výložníku



Obr. 4.4 Síly působící na výložník

Svislá síla na ložisko

$$V = F_G + F'_{mb} \Rightarrow V = 459,7 + 1353,8 \quad (4.11)$$

$$V = 1813,5 \text{ N}$$

Moment sil ke svislé ose

$$H' \cdot h_1 = H \cdot h_1 = F_{G1} \cdot a + (F'_{mb} + F_{G2}) \cdot b = V \cdot c \quad (4.12)$$

$$c = \frac{F_{G1} \cdot a + (F'_{mb} + F_{G2}) \cdot b}{V} \Rightarrow c = \frac{224,45 \cdot 0,925 + (1353,8 + 235,24) \cdot 2}{1813,5}$$

$$c = 1,867 \text{ m}$$

Reakce $H = H'$

$$H = \frac{F_{G1} \cdot a + (F'_{mb} + F_{G2}) \cdot b}{h_1} \Rightarrow H = \frac{224,45 \cdot 0,925 + (1353,8 + 235,24) \cdot 2}{0,405} \quad (4.13)$$

$$H = 8359,7 \text{ N}$$

4.4.1 Ohyb výložníku

Maximální ohybový moment

$$M_{O_{\max}} = F_{G1} \cdot a + (F'_{mb} + F_{G2}) \cdot b = V \cdot c \Rightarrow M_{O_{\max}} = 1813,5 \cdot 1,867 \quad (4.14)$$

$$M_{O_{\max}} = 3385,8 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Maximální ohybové napětí v bodě A

$$\sigma_{oA} = \frac{M_{O_{\max}}}{W_{Ox}} \Rightarrow \sigma_{oA} = \frac{3385,8}{0,000053} \quad (4.15)$$

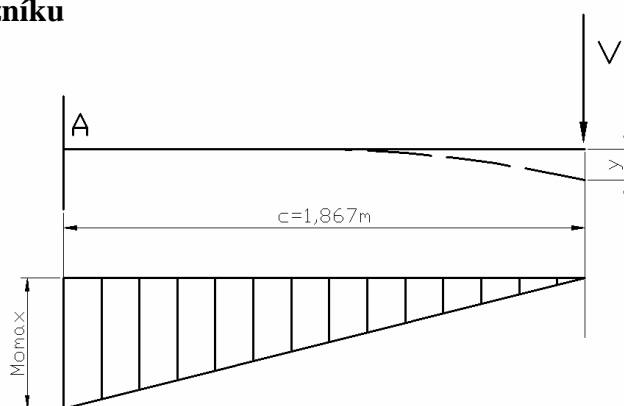
$$\sigma_{oA} = 63,88 \text{ MPa} \leq \sigma_{O_{dov}}$$

$W_{Ox} = 53 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^3\text{]}$ - průřezový modul v ohybu pro profil IPE 120 dle [13]

$\sigma_{O_{dov}} = 70 \div 105 \text{ [MPa]}$ - dovolené napětí v ohybu pro materiál 11 373 dle [13]

Výložník na ohyb vyhovuje.

4.4.2 Průhyb výložníku



Obr. 4.5 Průhyb výložníku

$$y = \frac{F \cdot l^3}{3E \cdot I_x} = \frac{V \cdot c^3}{3E \cdot I_x} \Rightarrow y = \frac{1813,5 \cdot 1,867^3}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 318 \cdot 10^{-8}} \quad (4.16)$$

$$y = 0,00589 \text{ m}$$

$E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ [Pa]}$ - modul pružnosti v tahu pro ocel dle [13]

$I_x = 318 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$ - kvadratický moment pro profil IPE 120 dle [13]

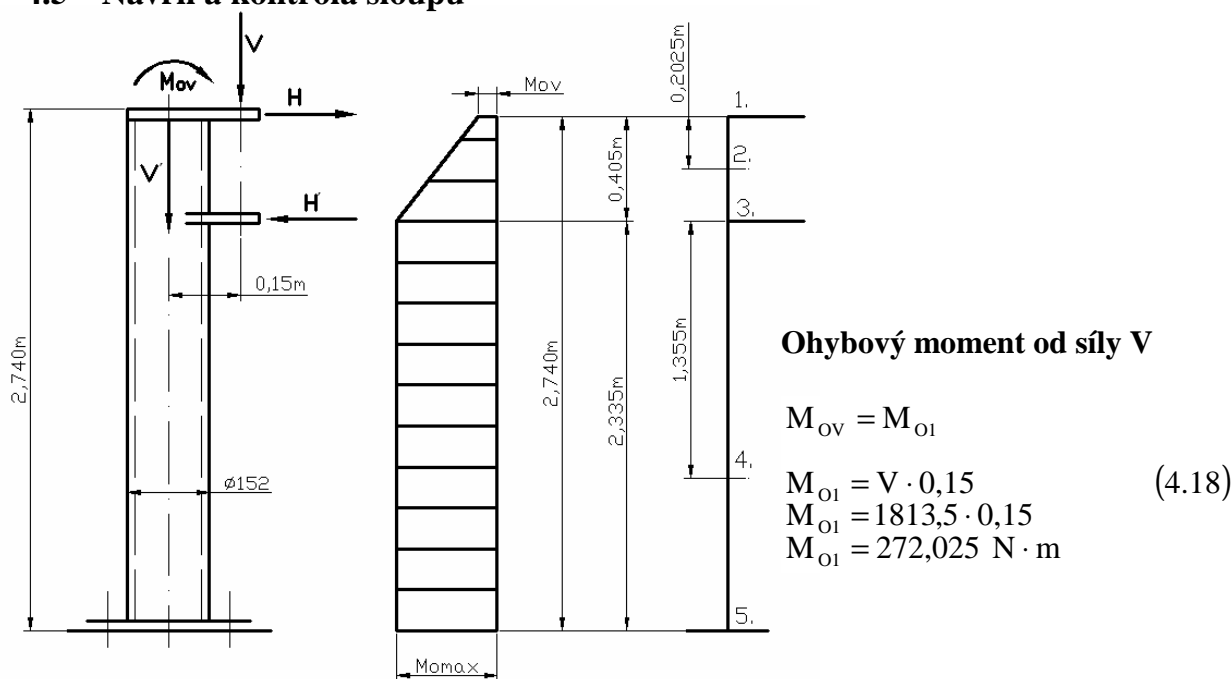
Dovolený průhyb

$$y_D = \frac{1}{300} \cdot l = \frac{1}{300} \cdot c \Rightarrow y_D = \frac{1}{300} \cdot 1,867 \quad (4.17)$$

$$y_D = 0,006223 \text{ m} \geq y = 0,00589 \text{ m}$$

Nosník na průhyb vyhovuje.

4.5 Návrh a kontrola sloupu



Obr. 4.6 Síly a moment působící na sloup

Ohybový moment v bodě 2

$$M_{o2} = M_{o1} + H \cdot \frac{h_1}{2} \Rightarrow M_{o2} = 272,025 + 8359,7 \cdot \frac{0,405}{2} \quad (4.19)$$

$$M_{o2} = 1964,86 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ohybový moment v bodě 5

$$M_{o5} = M_{ov} + H \cdot 2,740 - H \cdot 2,335 \quad (4.20)$$

$$M_{o5} = 272,025 + 8359,7 \cdot 2,740 - 8359,7 \cdot 2,335$$

$$M_{o5} = 3657,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Vnitřní průměr sloupu

$$M_{O_{\max}} = M_O$$

$$\sigma = \frac{M_{O_{\max}}}{\frac{\pi \cdot (D_1^4 - d_1^4)}{32 \cdot D_1}} \rightarrow d_{\min} \quad (4.21)$$

$$d_{\min S} = \sqrt[4]{\frac{0,1 \cdot \sigma_{\text{dov}} \cdot D_1^4 - M_{O_{\max}} \cdot D_1}{0,1 \cdot \sigma_{\text{dov}}}} \Rightarrow d_{\min S} = \sqrt[4]{\frac{0,1 \cdot 110 \cdot 10^6 \cdot 0,152^4 - 3657,7 \cdot 0,152}{0,1 \cdot 110 \cdot 10^6}}$$

$$d_{\min S} = 0,1483 \text{ m}$$

$D_1 = 152 \text{ [mm]}$ - vnější průměr sloupu zvolené trubky dle nabídky Ferony [6]

$\sigma_{\text{dov}} = 100 \div 120 \text{ [MPa]}$ - dovolené napětí pro materiál 11 353 dle [13]

Zvolená trubka $\varnothing 152 \times 8$ ČSN 42 5715.01 vyhovuje.

$I_x = 9,41 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^4\text{]}$ - kvadratický moment zvolené trubky dle [13]

$S = 3,619 \cdot 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$ - plocha průřezu zvolené trubky dle [13]

Napětí sloupu

$$\sigma = \frac{M_{O_{\max}}}{\frac{\pi \cdot (D_1^4 - d_1^4)}{32 \cdot D_1}} \leq \sigma_{\text{dov}} \Rightarrow \sigma = \frac{3657,7}{\frac{\pi \cdot (0,152^4 - 0,136^4)}{32 \cdot 0,152}} \quad (4.22)$$

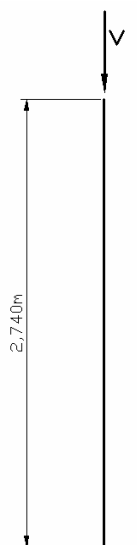
$$\sigma = 29,54 \text{ MPa} \leq \sigma_{\text{dov}}$$

4.5.1 Kontrola sloupu na vzpěr

Štíhlost

$$\lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{2 \cdot l_s}{i} = \frac{2 \cdot l_s}{\sqrt{\frac{I_x}{S}}} \Rightarrow \lambda = \frac{2 \cdot 2,740}{\sqrt{\frac{9,41 \cdot 10^{-6}}{3,619 \cdot 10^{-3}}}} \quad (4.23)$$

$$\lambda = 107,5$$


Dovolená síla

$$F_{\text{dov}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{k_v \cdot 4 \cdot l_s^2} \Rightarrow F_{\text{dov}} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 9,41 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 4 \cdot 2,740^2} \quad (4.24)$$

$$F_{\text{dov}} = 216\,484,24 \text{ N} \geq V = 1813,5 \text{ N}$$

$k_v = 3$ [–] - součinitel bezpečnosti, volím raději vyšší hodnotu

Sloup na vzpěr vyhovuje.

Obr. 4.7 Namáhání sloupu na vzpěr

4.6 Návrh a kontrola kotevních šroubů a základové desky

Svislá reakce ve šroubu od maximálního momentu

$$F' = \frac{M_{\text{Omax}} \cdot 4}{D_s \cdot n} \Rightarrow F' = \frac{3657,7 \cdot 4}{0,2 \cdot 6} \quad (4.25)$$

$$F' = 12\,192,33 \text{ N}$$

$D_s = 200$ [mm] - průměr roztečné kružnice šroubu základové desky

$n = 6$ [ks] - počet šroubů základové desky

Svislá reakce ve šroubu od síly V

$$F'' = \frac{V}{n} \Rightarrow F'' = \frac{1813,5}{6} \quad (4.26)$$

$$F'' = 302,25 \text{ N}$$

Výsledná síla

$$F = F' + F'' \Rightarrow F = 12192,33 + 302,25 \quad (4.27)$$

$$F = 12494,58 \text{ N}$$

**Ohybový moment působící na základovou desku**

$$M_h = F \cdot \frac{D_s}{2} \Rightarrow M_h = 12494,58 \cdot \frac{0,2}{2} \quad (4.28)$$

$$M_h = 1249,46 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Průřezový modul v ohybu

$$W_o = \frac{1}{6} \cdot b_d \cdot \left(\frac{D_s}{2} \right)^2 \Rightarrow W_o = \frac{1}{6} \cdot 0,02 \cdot \left(\frac{0,2}{2} \right)^2 \quad (4.29)$$

$$W_o = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$b_d = 20 \text{ [mm]}$ - tloušťka základové desky

Napětí v ohybu

$$\sigma_o = \frac{M_h}{W_o} \Rightarrow \sigma_o = \frac{1249,46}{3,33 \cdot 10^{-5}} \quad (4.30)$$

$$\sigma_o = 37,5 \text{ MPa} \leq \sigma_{\text{dov}}$$

$\sigma_{\text{dov}} = 70 \div 105 \text{ [MPa]}$ - dovolené napětí v ohybu pro materiál 11 373 dle [13]

Tahová síla od šroubu

$$F_t = F' - F'' \Rightarrow F_t = 12192,33 - 302,25 \quad (4.31)$$

$$F_t = 11890,08 \text{ N}$$

Návrh šroubu

$$\frac{F_t}{\pi \cdot d_3^2} \cdot \beta_t \leq \frac{Re}{ks} \quad (4.32)$$

$$d_3' = \sqrt{\frac{\beta \cdot 4 \cdot ks \cdot F_t}{\pi \cdot Re}} \Rightarrow d_3' = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 11890,08}{\pi \cdot 180}}$$

$$d_3' = 14,788 \text{ mm}$$

$\beta_t = 1,3$ [-] - součinitel přidavného krutu pro jednoduchý závit dle [11]

$R_e = 180$ [MPa] - mez kluzu pro materiál třídy pevnosti 3.6 dle [11]

$k_s = (1,5 \div 2,5)$ [-] - bezpečnost pro šrouby, volím $k_s = 2$

Z kapitoly 3.2 je zřejmé že průměr kotevních šroubů by měl být minimálně M 24, proto volím šroub M24 x 1,5 ČSN EN ISO 4017 – 3.6

Tahové napětí ve šroubu

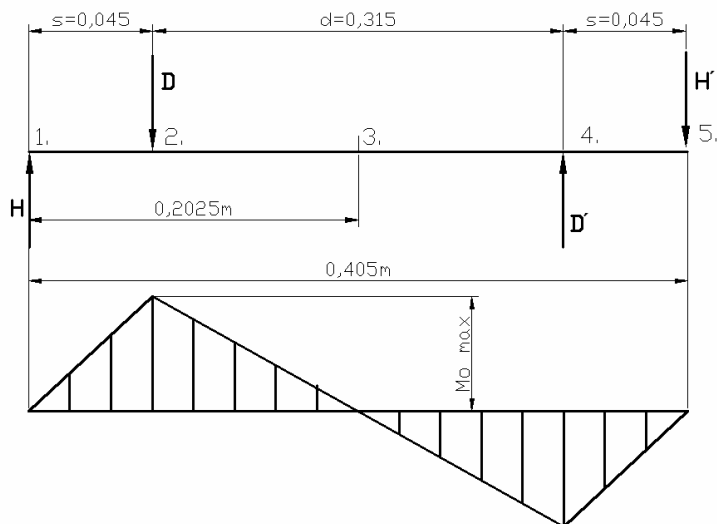
$$\sigma_t = \frac{F_t}{S_j} \Rightarrow \sigma_t = \frac{11890,08}{385,68} \quad (4.33)$$

$$\sigma_t = 30,83 \text{ MPa} \leq \sigma_{\text{dov}}$$

$\sigma_{\text{dov}} = 75 \div 105$ [MPa] - dovolené napětí v tahu pro materiál 11 343 dle [13]

$S_j = 385,68$ [mm²] - průřez jádra šroubu M24 x 1,5 dle [13]

4.7 Návrh a kontrola nosného čepu



Obr. 4.8 Síly působící na ložiska

Reakce v ložisku

$$D = D' = \frac{V \cdot c}{d} \quad (4.34)$$

$$D = \frac{1813,5 \cdot 1,867}{0,315}$$

$$D = 10748,6 \text{ N}$$

$$M_{O \max} = H \cdot s \Rightarrow M_{O \max} = 8359,7 \cdot 0,045 \quad (4.35)$$

$$M_{O \max} = 376,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Průměr čepu v místě ložiska

- pro $\sigma_{\text{dov}} = 200 \text{ MPa}$

$$d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{O \max}}{\pi \cdot \sigma_{\text{dov}}}} \Rightarrow d_{\min} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 376,2 \cdot 10^3}{\pi \cdot 200}} \quad (4.36)$$

$$d_{\min} = 26,76 \text{ mm}$$

Z vypočteného minimálního průměru čepu volím normalizovaný průměr čepu $d = 40 \text{ mm}$.

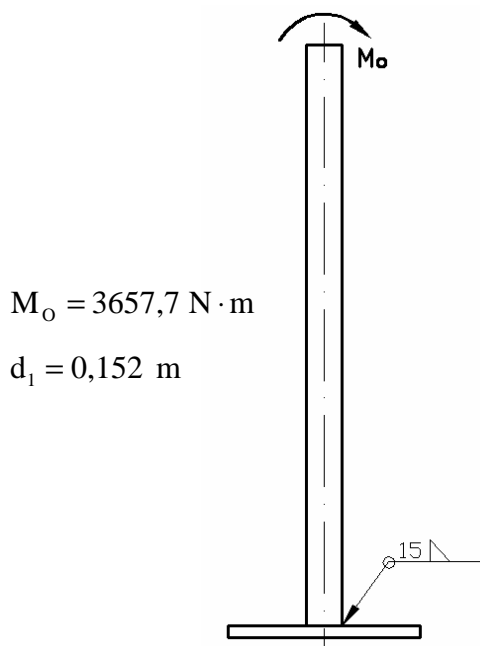
4.8 Kontrola svarových spojů

Po navrhnu svarového spoje se musí provést jeho kontrola. Při kontrole svarového spoje zjistíme napětí ve svaru a zjištěné napětí porovnáme s napětím dovoleným. Pokud je zjištěné napětí menší než dovolené, svar vyhoví. Doporučený postup při výpočtech svarů je podrobně popsán v normě ČSN 05 0120.

4.8.1 Připojení sloupu k základové desce

Materiál sloupu 11 353

Materiál základové desky 11 373



$$M_O = 3657,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$d_1 = 0,152 \text{ m}$$

$$D_O = 2 \cdot 0,7 \cdot a + d_1 \quad (4.37)$$

$$D_O = 2 \cdot 0,7 \cdot 0,015 + 0,152$$

$$D_O = 0,173 \text{ m}$$

$a = 15 \text{ [mm]}$ - výška koutového svaru

Průřezový modul v ohybu v místě svaru

$$W_{\text{OSV}} = \frac{\pi \cdot (D_O^4 - d_1^4)}{32 \cdot D} \quad (4.38)$$

$$W_{\text{OSV}} = \frac{\pi \cdot (0,173^4 - 0,152^4)}{32 \cdot 0,173}$$

$$W_{\text{OSV}} = 2,054 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Obr. 4.9 Svar sloup – základová deska

Smykové napětí kolmé na směr svaru

$$\tau_{\perp} = \frac{M_o}{W_{OSV}} \Rightarrow \tau_{\perp} = \frac{3657,7}{2,054 \cdot 10^{-4}} \quad (4.39)$$

$$\tau_{\perp} = 17,81 \text{ MPa}$$

Srovnávací napětí

$$\tau_{s1} = \frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\tau\perp}} \Rightarrow \tau_{s1} = \frac{17,81}{0,75} \quad (4.40)$$

$$\tau_{s1} = 23,75 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s2} = \beta \cdot \frac{Re}{k_s} \Rightarrow \tau_{s2} = 1 \cdot \frac{186}{1,5} \quad (4.41)$$

$$\tau_{s2} = 124 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s1} \leq \tau_{s2} \Rightarrow 23,75 \text{ MPa} \leq 124 \text{ MPa}$$

$\alpha_{\tau\perp} = 0,75$ [–] - převodní součinitel pro čelní koutový svar podle ČSN 05 0120 dle [11]

$\beta = 1$ [–] - součinitel tloušťky koutového svaru pro svary > 10 mm dle [11]

$k_s \geq 1,5$ [–] - statická bezpečnost svarového spojení dle [11]

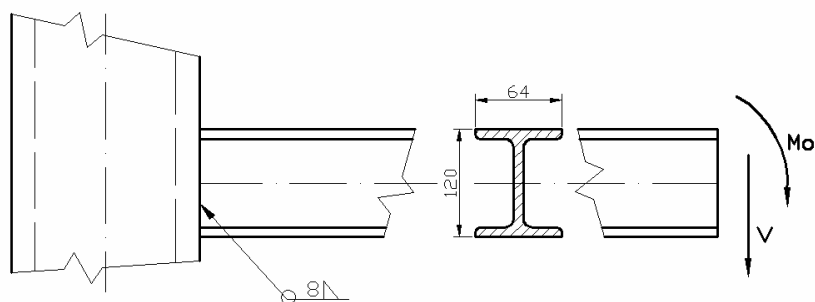
$Re = 186$ [MPa] - mez kluzu pro materiál 11 373 dle [13]

Svar připojení sloupu k základové desce vyhovuje, srovnávací napětí je menší než napětí dovolené.

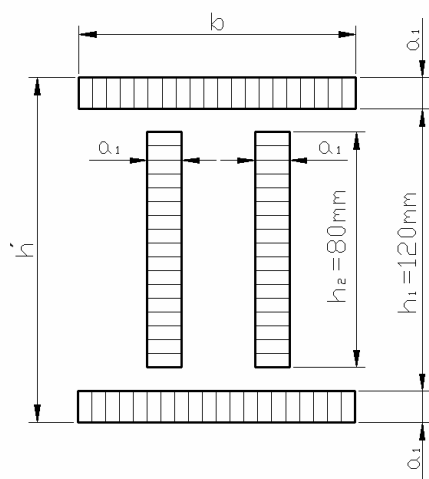
4.8.2 Připojení výložníku

Materiál výložníku 11 373

Materiál sloupu 11 353



Obr. 4.10 Svar výložník



Výška svaru

$$a_1 = 0,7 \cdot t \quad (4.42)$$

$$a_1 = 0,7 \cdot 8$$

$$a_1 = 5,6 \text{ mm}$$

$$t = 8 \text{ [mm]} - \text{tloušťka svaru}$$

Celkové rozpětí svaru

$$h' = h_1 + 2 \cdot a_1 \quad (4.43)$$

$$h' = 120 + 2 \cdot 5,6$$

$$h' = 131,2 \text{ mm}$$

Obr. 4.11 Zjednodušený svarový obrazec

Průřezový modul svaru v ohybu v místě svaru

$$W_{OSV} = \frac{1}{3} \cdot a_1 \cdot \frac{h_2^3}{h'} + \frac{1}{3} \cdot b_1 \cdot \frac{a_1^3}{h'} + b_1 \cdot a_1 \cdot h' \quad (4.44)$$

$$W_{OSV} = \frac{1}{3} \cdot 5,6 \cdot \frac{80^3}{131,2} + \frac{1}{3} \cdot 64 \cdot \frac{5,6^3}{131,2} + 64 \cdot 5,6 \cdot 131,2$$

$$W_{OSV} = 54335,2 \text{ mm}^3$$

$$b_1 = 64 \text{ [mm]} - \text{délka svaru pro profil IPE 120 dle [13]}$$

Smykové napětí od posouvající síly

$$\tau_{II} = \frac{V}{S_{SV}} = \frac{V}{2 \cdot a_1 \cdot h_2} \Rightarrow \tau_{II} = \frac{1813,5}{2 \cdot 5,6 \cdot 80} \quad (4.45)$$

$$\tau_{II} = 2,024 \text{ MPa}$$

Smykové napětí od ohybového momentu

$$\tau_I = \frac{M_O}{W_{OSV}} \Rightarrow \tau_I = \frac{3657,7 \cdot 10^3}{54335,2} \quad (4.46)$$

$$\tau_I = 67,3 \text{ MPa}$$

Výsledné srovnávací napětí

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\tau_{\perp}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{\parallel}}{\alpha_{\tau_{\parallel}}}\right)^2} \leq \beta \cdot \frac{Re}{k_s} \quad (4.47)$$

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{67,3}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{2,024}{0,65}\right)^2} \leq 1,3 - 0,03 \cdot 8 \cdot \frac{186}{1,5}$$

$$\tau_s = 89,8 \text{ MPa} \leq 131,44 \text{ MPa}$$

$\alpha_{\tau_{\perp}} = 0,75$ [–] - převodní součinitel pro čelní koutový svar podle ČSN 05 0120 dle [11]

$\alpha_{\tau_{\parallel}} = 0,65$ [–] - převodní součinitel pro boční koutový svar podle ČSN 05 0120 dle [11]

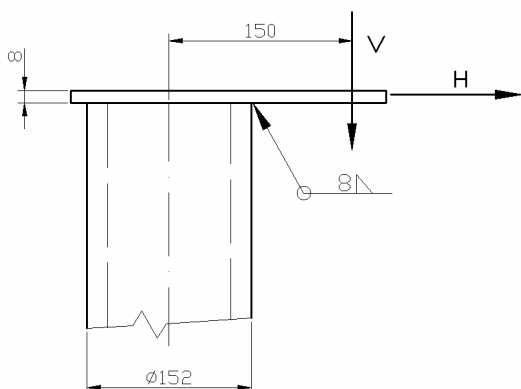
$k_s \geq 1,5$ [–] - statická bezpečnost svarového spojení dle [11]

$Re = 186$ [MPa] - mez kluzu pro materiál 11 373 dle [13]

$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot t$ [–] - součinitel tloušťky koutového svaru pro svary < 10 mm dle [11]

Svar připojení výložníku vyhovuje, výsledné srovnávací napětí je menší než napětí dovolené.

4.8.3 Připojení horní desky



Materiál sloupu 11 353

Materiál desky 11 373

Ohybový moment

$$M_o = V \cdot 0,15 \Rightarrow M_o = 1813,5 \cdot 0,15 \quad (4.48)$$

$$M_o = 272,025 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Obr. 4.12 Svar horní desky – sloup

Průřezový modul svaru

$$W_{osv} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_o^4 - d_i^4}{D_o} \Rightarrow W_{osv} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{(2 \cdot 0,7 \cdot 8 + 152)^4 - 152^4}{2 \cdot 0,7 \cdot 8 + 152} \quad (4.49)$$

$$W_{osv} = 1,05627 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

**Smykové napětí od síly H**

$$\tau_1 = \frac{H}{\frac{\pi}{4} \cdot [(2 \cdot 0,7 \cdot t + d_1)^2 - d_1^2]} \Rightarrow \tau_1 = \frac{8359,7}{\frac{\pi}{4} \cdot [(2 \cdot 0,7 \cdot 8 + 152)^2 - 152^2]} \quad (4.50)$$

$$\tau_1 = 3,015 \text{ MPa}$$

Smykové napětí od ohybového momentu

$$\tau_{\perp} = \frac{M_o}{W_{OSV}} \Rightarrow \tau_{\perp} = \frac{272,025}{1,05627 \cdot 10^{-4}} \quad (4.51)$$

$$\tau_{\perp} = 2,575 \text{ MPa}$$

Smykové napětí od síly V

$$\tau_2 = \frac{V}{\frac{\pi}{4} \cdot [(2 \cdot 0,7 \cdot t + d_1)^2 - d_1^2]} \Rightarrow \tau_2 = \frac{1813,5}{\frac{\pi}{4} \cdot [(2 \cdot 0,7 \cdot 8 + 152)^2 - 152^2]} \quad (4.52)$$

$$\tau_2 = 0,654 \text{ MPa}$$

Výsledné srovnávací napětí dle ČSN 05 0120

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{\tau_{\perp} + \tau_2}{\alpha_{\tau_{\perp}}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_1}{\alpha_{\tau_{\perp}}}\right)^2} \leq \beta \cdot \frac{Re}{k_s} \quad (4.53)$$

$$\tau_s = \sqrt{\left(\frac{2,575 + 0,654}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{3,015}{0,75}\right)^2} \leq 1,3 - 0,03 \cdot 8 \cdot \frac{186}{1,5}$$

$$\tau_s = 5,89 \text{ MPa} \leq 131,44 \text{ MPa}$$

$\alpha_{\tau_{\perp}} = 0,75$ [–] - převodní součinitel pro čelní koutový svar podle ČSN 05 0120 dle [11]

$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot t$ [–] - součinitel tloušťky koutového svaru pro svary < 10 mm dle [11]

$k_s \geq 1,5$ [–] - statická bezpečnost svarového spojení dle [11]

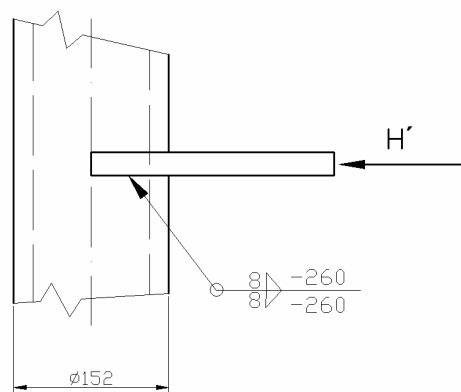
$Re = 186$ [MPa] - mez kluzu pro materiál 11 373 dle [13]

Svar připojení horní desky ke sloupu vyhovuje, výsledné srovnávací napětí je menší než napětí dovolené.

4.8.4 Připojení spodní desky

Materiál sloupu 11 353

Materiál desky 11 373



Obr. 4.13 Svar spodní desky – sloup

Smykové napětí od síly H'

$$\tau_{\perp} = \frac{H'}{2 \cdot 0,7 \cdot t \cdot l} \quad (4.54)$$

$$\tau_{\perp} = \frac{8359,7}{2 \cdot 0,7 \cdot 8 \cdot 260}$$

$$\tau_{\perp} = 2,87 \text{ MPa}$$

Srovnávací napětí

$$\tau_s = \frac{\tau_{\perp}}{\alpha_{\tau\perp}} \leq \beta \cdot \frac{Re}{k_s} \Rightarrow \tau_s = \frac{2,87}{0,75} \leq 1,3 - 0,03 \cdot 8 \cdot \frac{186}{1,5} \quad (4.55)$$

$$\tau_s = 3,827 \text{ MPa} \leq 131,44 \text{ MPa}$$

$\alpha_{\tau\perp} = 0,75$ [–] - převodní součinitel pro čelní koutový svar podle ČSN 05 0120 dle [11]

$\beta = 1,3 - 0,03 \cdot t$ [–] - součinitel tloušťky koutového svaru pro svary < 10 mm dle [11]

$k_s \geq 1,5$ [–] - statická bezpečnost svarového spojení dle [11]

$Re = 186$ [MPa] - mez kluzu pro materiál 11 373 dle [13]

Svar připojení spodní desky ke sloupu vyhovuje, srovnávací napětí je menší než napětí dovolené.

4.9 Kontrola ložisek

Posledním, avšak neméně důležitým bodem kontroly, jsou navržená ložiska. Provedením této kontroly se zjistí, zda navržená ložiska vyhoví nebo naopak nevyhoví daným podmínkám.

4.9.1 Horní ložisko

Jelikož na horní ložisko působí radiální i axiální síla, zvolila jsem kuželíkové ložisko jehož konstrukce je zvláště vhodná pro přenášení kombinovaného (radiálního a axiálního) zatížení [22]. Velikost ložiska vybírám podle již zvoleného normalizovaného čepu $d = 40 \text{ mm}$.

Rozměry kuželíkového ložiska

Označení kuželíkového ložiska: 32008X/Q

Tab. 4.3 Hlavní rozměry kuželíkového ložiska [22]

vnitřní průměr d_L [mm]	vnější průměr D_L [mm]	šířka T [mm]
40	68	19

Tab. 4.4 Vedlejší veličiny kuželíkového ložiska [22]

statická únosnost C_o [kN]	dynamická únosnost C [kN]	mezní únavové zatížení P_u [kN]	min. bezpečnost $S_{o_{\min}}$ [-]
71	52,8	7,65	2

Pro výpočet statické bezpečnosti kuželíkového ložiska je třeba znát ekvivalentní statické zatížení ložiska. Na ložisko působí radiální i axiální síla, a proto se ekvivalentní statické zatížení vypočte ze vztahu dle [22].

Ekvivalentní statické zatížení ložiska

$$P_o = 0,5 \cdot D + 0,9 \cdot V \Rightarrow P_o = 0,5 \cdot 10748,5 + 0,9 \cdot 1813,5 \quad (4.56)$$

$$P_o = 7006,4 \text{ N}$$



Výpočet statické bezpečnosti ložiska

$$S_o = \frac{C_o}{P_o} \Rightarrow S_o = \frac{71000}{7006,4} \quad (4.57)$$

$$S_o = 10,13 \geq S_{o_{\min}}$$

Bezpečnost kuželíkového ložiska vyhovuje.

4.9.2 Spodní ložisko

Na spodní ložisko působí pouze radiální síla, proto jsem zvolila válečkové ložisko typu NU. Vnější kroužek u provedení NU má dvě vodící příruby, zatímco vnitřní kroužek je zcela bez přírub. Axiální posuv vzhledem k tělesu je přípustný v obou směrech. [21] Velikost ložiska vybírám podle již zvoleného normalizovaného čepu $d = 40 \text{ mm}$.

Rozměry válečkového ložiska

Označení válečkového ložiska: NU 1008 ML

Tab. 4.5 Hlavní rozměry válečkového ložiska [21]

vnitřní průměr d_L [mm]	vnější průměr D_L [mm]	šířka B [mm]
40	68	15

Tab. 4.6 Vedlejší veličiny válečkového ložiska [21]

statická únosnost C_o [kN]	dynamická únosnost C [kN]	mezní únavové zatížení P_u [kN]	min. bezpečnost $S_{o_{\min}}$ [-]
26	25,1	3	2

Pro výpočet statické bezpečnosti válečkového ložiska je třeba znát ekvivalentní statické zatížení ložiska. Na ložisko působí pouze radiální síla, a proto je ekvivalentní statické zatížení rovno přímo radiální síle ložiska.



Výpočet statické bezpečnosti ložiska

$$S_o = \frac{C_o}{P_o} \Rightarrow S_o = \frac{26000}{10748,6} \quad (4.58)$$

$$S_o = 2,42 \geq S_{o_{\min}}$$

Bezpečnost válečkového ložiska vyhovuje.

5 Závěr

Seznámit se s danou problematikou týkající se jeřábů a zkonstruovat sloupový otočný jeřáb tak, aby se bezprostředně po výrobě dal použít, bylo cílem mé bakalářské práce. Tento cíl jsem splnila.

Jako zdvihací zařízení jeřábu jsem zvolila řetězový kladkostroj ABUCompact GM2 od firmy ABUS. Provedla jsem návrh a výpočet svařované konstrukce, výpočet kotevních šroubů a výpočet ložisek otočného závěsu jeřábu.

Výpočtová část zahrnovala pevnostní kontroly jednotlivých částí jeřábu (sloup, výložník, základová deska, kotevní šrouby, ložiska) a všech svarových spojů. Kontrolním výpočtem jednotlivých částí sloupového otočného jeřábu bylo zjištěno, že působením vnějších sil nedojde k překročení výpočtových napětí v žádné části konstrukce jeřábu (všechny výpočty vyšly menší než maximální dovolené napětí) a tudíž navržený sloupový otočný jeřáb všem zvoleným podmínkám vyhověl. Při výpočtu jsem vycházela z normy ČSN 27 0103, podle které jsem volila potřebné součinitele.

Závěrem bych ráda poděkovala Ing. Milanovi Výtiskovi za odborné vedení, ochotu, cenné rady, připomínky a předání zkušeností v průběhu řešení dané problematiky bakalářské práce.



6 Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN 05 0120 Výpočet svarových spojů strojních konstrukcí platná od 1.5.1972
- [2] ČSN 27 0103 Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů (výpočet podle mezních stavů) platná od 1.1.1972
- [3] ČSN ISO 5966 Formální úprava vědeckých a technických zpráv. Praha: Český normalizační institut, 1995
- [4] ČSN ISO 690 Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [5] Demag Cranes a Components: *Jeřáby* [online]. 2001 [cit. 2009-01-14]. Dostupný z WWW: < <http://demagcranes.cz> >
- [6] Feron: *Katalog* [online]. 2003 [cit. 2009-03-07]. Dostupný z WWW: <<http://ferona.cz/>>
- [7] GANAS, spol. s r.o.: *Jeřáby* [online]. 2004 [cit. 2009-01-17]. Dostupný z WWW: <<http://ganas-jeraby.cz>>
- [8] Iteco: *Otočné jeřáby* [online]. 2002 [cit. 2009-02-10]. Dostupný z WWW: < <http://iteco.cz> >
- [9] Jeřáby – servis: *Kladkostroj* [online]. 2004 [cit. 2009-01-17]. Dostupný z WWW: <<http://jerabyservis.cz>>
- [10] Kaiser + Kraft: *Zvedací přístroje* [online]. 2003 [cit. 2009-03-10]. Dostupný z WWW: < <http://kaiserkraft.cz> >
- [11] Kaláb, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části spojovací*. Ostrava 2008. ISBN 978-80-248-1290-8



- [12] Krantechnik s.r.o.: *Mostové jeřáby* [online]. 2002 [cit. 2009-01-22]. Dostupný z WWW: <<http://krantechnik.cz>>
- [13] Leinveber, J.; Vávra, P.; *Strojnické tabulky*, 3 vyd., Úvaly 2006, ISBN 80-7361-033-7
- [14] Martínek, P.; *Transportní zařízení řešené příklady*. Ostrava 1993. ISBN 80-7078-165-3
- [15] Mecalux logismarket Průmyslový katalog Česká republika: *Zdvih manipulace* [online]. 2000 [cit. 2009-01-10]. Dostupný z WWW: <<http://logismarket.cz>>
- [16] Miroslav Bazala - Zdvihací zařízení: *Manipulační-technika* [online]. 2005 [cit. 2009-01-28]. Dostupný z WWW: <<http://manipulacni-technika.cz>>
- [17] Pavliska, J.; Hrabovský, L.; *Dopravní a manipulační zařízení IV*, Ostrava 2004. ISBN 80-248-0537-5
- [18] Profo: *Zvedáky* [online]. 2005 [cit. 2009-03-12]. Dostupný z WWW: <<http://profo.cz>>
- [19] Remta, F.; Kupka, L.; Dražan, F. a kolektiv; *Jeřáby I.díl* 1. vyd., Praha: SNTL, 1974
- [20] Remta, F.; Kupka, L.; Dražan, F. a kolektiv; *Jeřáby II.díl* 1. vyd., Praha: SNTL, 1975
- [21] SKF katalog: *Válečková ložiska* [online]. 2003 [cit. 2009-01-07]. Dostupný z WWW: <<http://skf.com>>
- [22] SKF katalog: *Kuželíková ložiska* [online]. 2003 [cit. 2009-01-07]. Dostupný z WWW: <<http://skf.com>>
- [23] T.A.D SNINA s.r.o. : *Kladkostroje* [online]. 2004 [cit. 2009-02-27]. Dostupný z WWW: <<http://tad-snina.sk>>
- [24] Tauš jeřáby: *Kladkostroj* [online]. 2003 [cit. 2009-02-14]. Dostupný z WWW: <<http://taus-jeraby.cz>>
- [25] Wikipedie, otevřená encyklopedie : *Stroj* [online]. 2002 [cit. 2009-02-7]. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedia.org>>



7 Seznam použitých obrázků

Obr. 2.1 Zdvihač zařízení pro zdvih automobilu [18]	7
Obr. 2.2 Jeřáb používaný v průmyslu [25]	8
Obr. 2.3 Portálový jeřáb [12]	9
Obr. 3.1 Sloupový otočný jeřáb [10]	10
Obr. 3.2 Neotočný sloup [16]	11
Obr. 3.3 Kruhová [10] a čtvercová základová deska [8]	11
Obr. 3.4 Betonový základ [10]	12
Obr. 3.5 Plnostěnný výložník [15]	12
Obr. 3.6 Příhradový výložník [8]	12
Obr. 3.7 Ručně otočné výložníky [15, 10]	13
Obr. 3.8 Elektricky ovládaný otočný výložník [7]	13
Obr. 3.9 Zarážka pevná [15]	14
Obr. 3.10 Zarážka rozebíratelná [5]	14
Obr. 3.11 Elektrický lanový kladkostroj [24]	14
Obr. 3.12 Elektrický řetězový kladkostroj [9]	14
Obr. 4.1 Řetězový kladkostroj ABUCompact [8]	16
Obr. 4.2 Kladkostroj ABUCompact GM2 [8]	16
Obr. 4.3 Vysvětlivky k typovému označení [8]	17
Obr. 4.4 Síly působící na výložník	19
Obr. 4.5 Průhyb výložníku	20
Obr. 4.6 Síly a moment působící na sloup	21
Obr. 4.7 Namáhání sloupu na vzpěr	23
Obr. 4.8 Síly působící na ložiska	25
Obr. 4.9 Svar sloup – základová deska	26
Obr. 4.10 Svar výložník	27
Obr. 4.11 Zjednodušený svarový obrazec	28
Obr. 4.12 Svar horní deska – sloup	29
Obr. 4.13 Svar spodní deska – sloup	31



8 Seznam použitých tabulek

Tab. 4.1 Zadané hodnoty	15
Tab. 4.2 Rozměry kladkostroje ABUCompact GM2 [8]	16
Tab. 4.3 Hlavní rozměry kuželíkového ložiska [22]	32
Tab. 4.4 Vedlejší veličiny kuželíkového ložiska [22]	32
Tab. 4.5 Hlavní rozměry válečkového ložiska [21].....	33
Tab. 4.6 Vedlejší veličiny válečkového ložiska [21].....	33



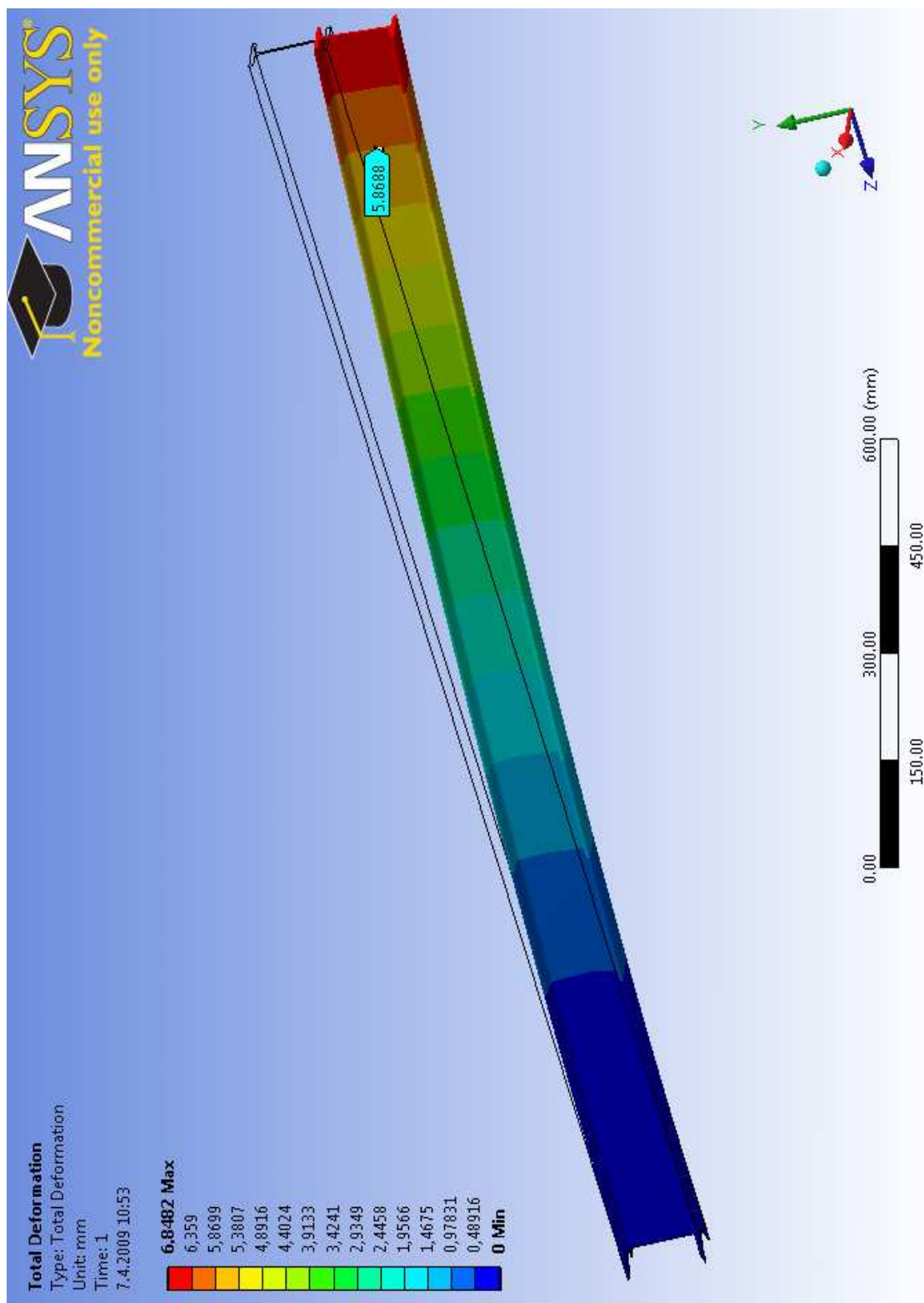
9 Seznam příloh

- Příloha č. 1** Výpočet deformace a napětí výložníku pomocí MKP programu ANSYS Workbench
- Příloha č. 2** Výpočet deformace a napětí výložníku pomocí MKP programu Inventor Professional 2008 (zjednodušená verze programu ANSYS)
- Příloha č. 3** SB3KSS02-00 (sestavný výkres sloupového jeřábu)
- Příloha č. 4** SB3KSS02-00.01 (výrobní výkres výložníku)
- Příloha č. 5** SB3KSS02-00.04 (výrobní výkres příruby)



Výpočet výložníku pomocí MKP programu ANSYS

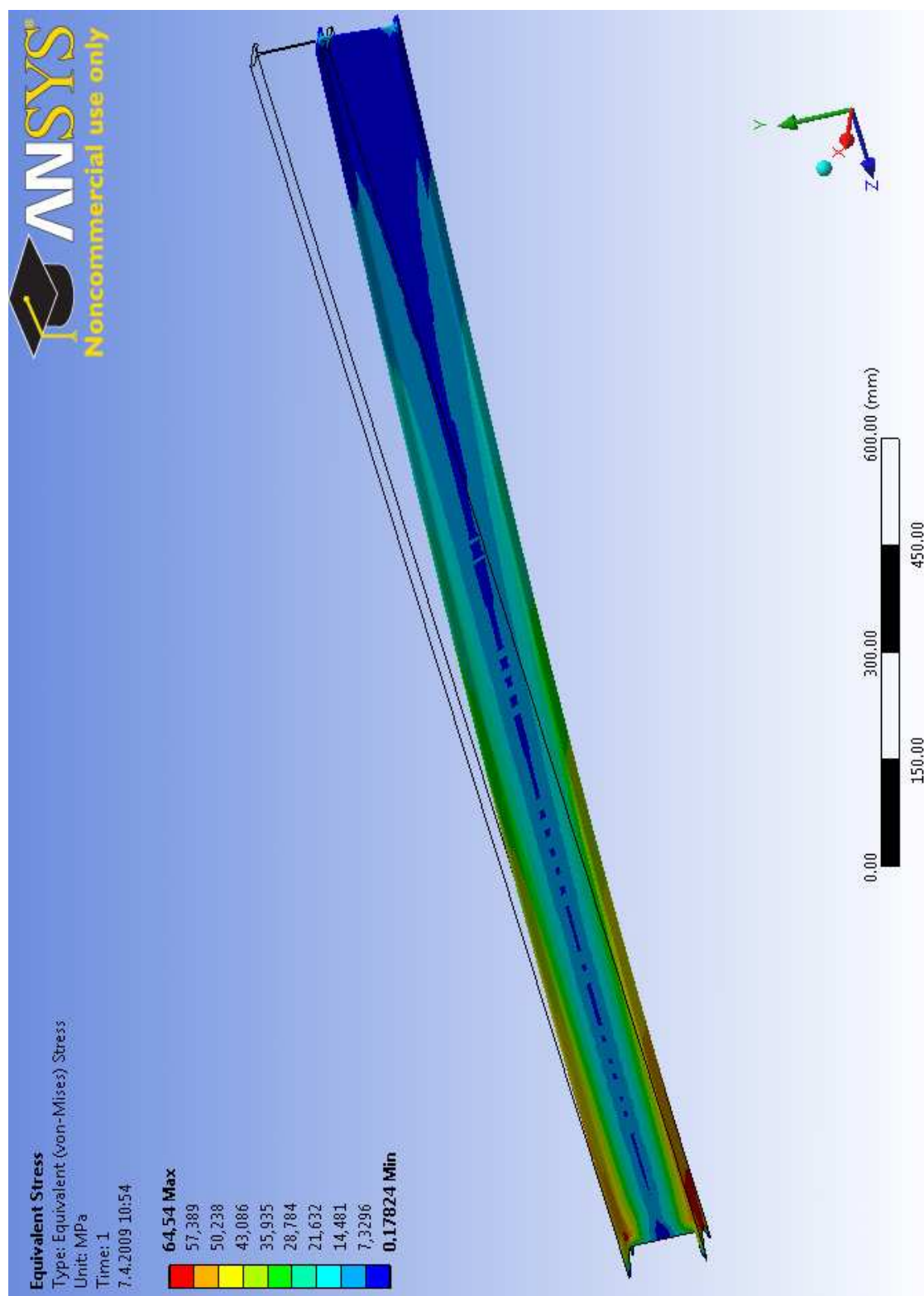
Workbench – výpočet deformace





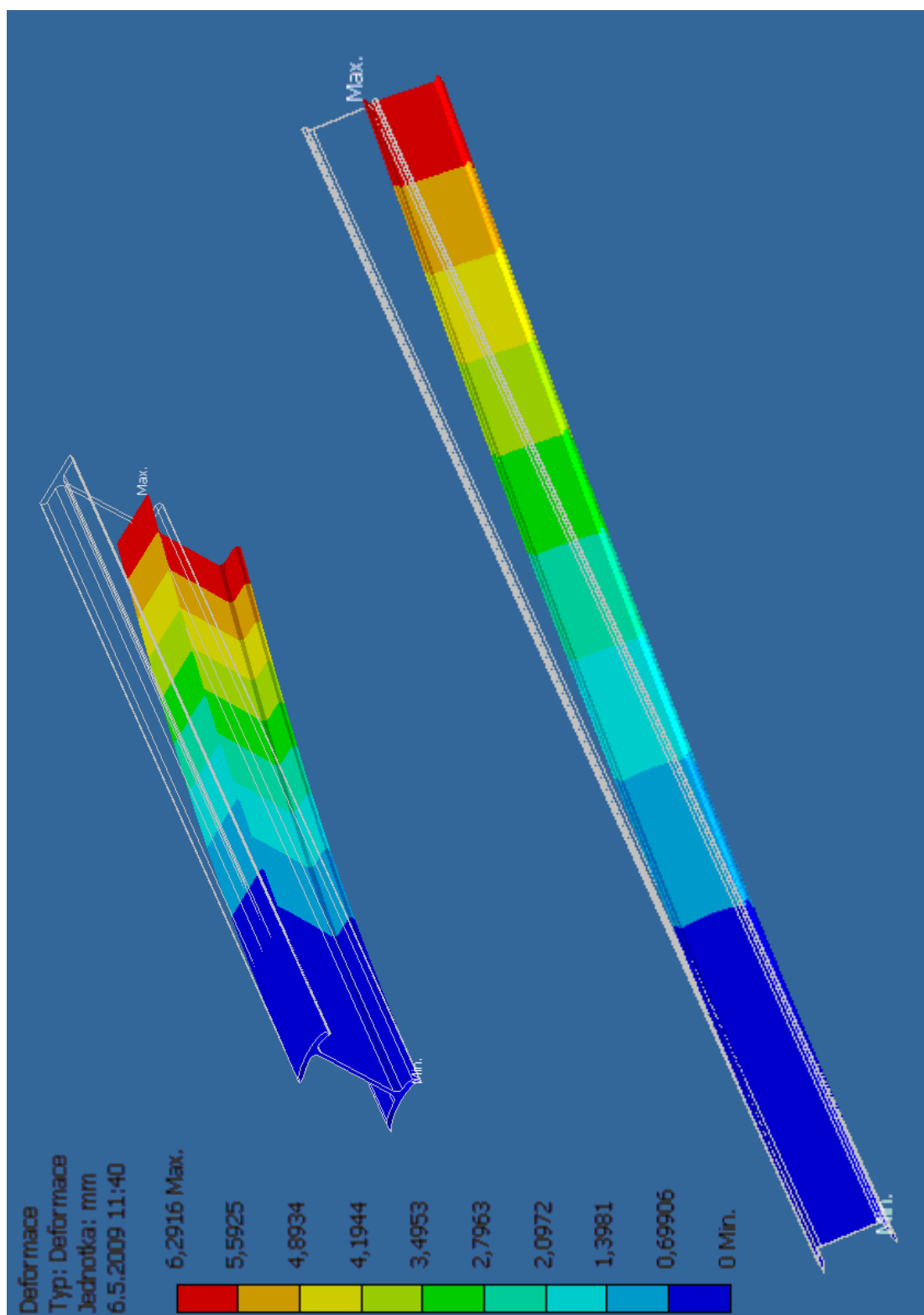
Výpočet výložníku pomocí MKP programu ANSYS

Workbench – výpočet napětí





Výpočet výložníku pomocí MKP programu Inventor Professional 2008 – výpočet deformace





Výpočet výložníku pomocí MKP programu Inventor Professional 2008 – výpočet napětí

